

## PENGARUH PENAMBAHAN SERBUK KAYU TERHADAP KARAKTERISTIK KERAMIK CORDIERITE BERPORI SEBAGAI BAHAN FILTER GAS BUANG

Perdamean Sebayang, Muljadi, Masno Ginting, Deni S.K.

Pusat Penelitian Fisika – LIPI  
Kawasan PUSPIPTK Serpong 15314 Tangerang

### ABSTRAK

Preparasi bahan baku lokal  $\text{MgCO}_3$ ,  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  dan  $\text{SiO}_2$  telah dilakukan dengan cara penggilingan menggunakan *ball mill* selama 48 jam, pengeringan di dalam oven pada suhu  $110^\circ\text{C}$  selama 24 jam, pengayakan hingga lolos 200 mesh dan kalsinasi pada suhu  $1200^\circ\text{C}$ . Hasil yang diperoleh berupa serbuk *cordierite* ( $2\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2$ ) dengan ukuran butir rata-rata sekitar  $7,78 \mu\text{m}$ . Selanjutnya serbuk *cordierite* tersebut dicampur masing-masing dengan 10, 15, 20, 25, dan 30 % berat serbuk kayu (SK) berukuran  $< 100$  mesh, dibentuk menjadi benda uji dengan cara cetak tuang, dan kemudian disinter pada suhu  $1250^\circ\text{C}$ . Sampel yang telah disinter disebut keramik *cordierite* berpori yang siap dikarakterisasi untuk telaah pemakaiannya sebagai filter gas buang. Hasil karakterisasi keramik *cordierite* berpori menunjukkan bahwa harga densitas berkisar antara  $0,75 - 1,17 \text{ g/cm}^3$ , nilai porositas: 58 – 63%, kekuatan patah: 0,5 – 2 MPa, kekerasan (Hv): 0,3 – 1,8 GPa, dan koefisien ekspansi termal:  $(4 - 6) \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ . Dari identifikasi pola difraksi sinar X menunjukkan bahwa fasa dominan yang terbentuk adalah *cordierite* dengan sistem kristal orthorhombic, fasa minor adalah mullite (orthorhombic) dan corundum (trigonal). Sedangkan dari hasil pengamatan dengan SEM menunjukkan bahwa keramik *cordierite* berpori mempunyai ukuran sekitar 10 – 100  $\mu\text{m}$  dan distribusi partikel relatif tidak merata. Dari beberapa sampel yang dibuat, ternyata kondisi optimum adalah komposisi 20% serbuk kayu (SK) dan suhu sintering  $1250^\circ\text{C}$ , dimana ukuran pori relatif seragam dan lebih kecil dari 50  $\mu\text{m}$ .

**Kata Kunci:** Serbuk kayu, Keramik Cordierite Berpori, Filter Gas Buang.

### ABSTRACT

The local raw materials:  $\text{MgCO}_3$ ,  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  and  $\text{SiO}_2$  have been mixed by using ball mill along as 48 hours, dried in the oven at  $110^\circ\text{C}$  for 24 hours, sieved until through out 200 mesh and then calcined at  $1200^\circ\text{C}$ . At this step, the result was *cordierite* powder ( $2\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2$ ) with average particle size of about  $7.78 \mu\text{m}$ . The next step, the *cordierite* powder was mixed with 10, 15, 20, 25, and 30 % (weight) of wood powder with  $< 100$  mesh of grain size, test material was formed by using slip casting, then each samples were sintered at  $1250^\circ\text{C}$ . The sintered samples are called porous ceramic *cordierites* which ready for characterization to evaluate its use as exhaust filter. The characterization results show that porous ceramics *cordierite* have density around  $0.75 - 1.17 \text{ g/cm}^3$ , porosity: 58 – 63%, bending strength: 0.5 – 2 MPa, hardness (Hv): 0.3 – 1.8 GPa, and coefficient expansion thermal:  $(4 - 6) \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ . X ray diffraction patterns show that the dominant phase is *cordierite* with orthorhombic crystal system, the minor phase is mullite (orthorhombic) and corundum (trigonal). Beside it, examination by SEM shows that pore ceramic *cordierite* have pore size about 10 – 100  $\mu\text{m}$  and relatively particle size is inhomogeneous. From several of processed samples, optimum condition of 20% powder wood composition is obtained with sintering temperature  $1250^\circ\text{C}$ , where pore size is relatively homogenous and its size is less than 50  $\mu\text{m}$ .

**Keywords:** Wood powder, Porous ceramic *cordierites*, Exhaust Filter.

## I. PENDAHULUAN

Sesuai dengan tuntutan jaman dalam era globalisasi maka mau tidak mau penguasaan teknologi bersih (*Clean Technology*) menjadi penting. Sejalan dengan tuntutan diatas maka masalah emisi gas buang perlu mendapat perhatian yang serius oleh kita semua. Salah satu alternatif untuk pencegahannya adalah penggunaan filter sehingga lingkungan bebas dari polusi, seperti: debu halus, dan gas-gas beracun. Gas buang dihasilkan dari ruang bakar (tungku pembakaran) maupun kendaraan bermotor, memiliki suhu cukup tinggi sekitar: (400 – 800) °C. Disamping suhu yang tinggi juga banyak mengandung partikel-partikel halus (debu), partikel karbon, gas CO, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> dan lain-lainnya. Filter mampu menangkap debu halus, partikel karbon dan membutuhkan material berpori, kuat, stabil, tahan suhu tinggi, tahan abrasi/korosi dan mudah dibersihkan. Produk filter gas buang beredar di Indonesia masih di impor dari Jepang, Amerika dan Australia. Oleh karena itu perlu dikuasai teknologinya agar dapat dilakukan substitusi impor akan kebutuhan filter gas buang.

*Cordierite* merupakan keramik oksida dengan formula: 2MgO.2Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.5SiO<sub>2</sub> dapat digunakan sebagai filter gas buang. Dasar pemilihan material ini, karena cukup stabil sampai suhu 1300°C, kekuatan mekanik tinggi, koefisien ekspansi termal rendah dan tahan terhadap korosi/abrasi. *Cordierite* tidak terdapat di alam, tetapi dapat disintesa dari reaksi padatan oksida-oksida: MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, dan SiO<sub>2</sub>. Sumber MgO diperoleh dari batuan magnesit MgCO<sub>3</sub> atau dolomite. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dari alumina/bauksit atau kaolinit, dan SiO<sub>2</sub> dari pasir silika. Deposit dari bahan-bahan alam tersebut cukup banyak tersedia di bumi Indonesia, dan belum termanfaatkan secara optimal.

Teknologi pembuatan keramik berpori dapat dilakukan dengan menambahkan bahan organik serbuk kayu pada campuran bahan keramik. Serbuk kayu akan terurai menjadi gas pada rentang suhu: (400 – 500)°C dan menyebabkan terbentuknya pori. Sumber bahan baku serbuk kayu tersedia cukup banyak berupa limbah dari industri kayu atau pengrajin kayu. Pada penelitian ini jumlah serbuk kayu yang ditambahkan adalah: 10, 15, 20, 25, dan 30% berat. Suhu sintering ditetapkan 1250°C, mengacu pada diagram fasa sistem MgO - Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - SiO<sub>2</sub>. Permasalahan utama adalah terfokus pada pembuatan keramik *cordierite* berpori yang ringan, kuat dan stabil bila dipanasi hingga suhu 1000°C. Kualitas keramik *cordierite* berpori yang dibuat kemudian diuji meliputi: analisa serbuk dan karakterisasi benda uji (densitas, porositas, kekuatan mekanik, kekerasan, koefisien ekspansi termal, dan SEM).

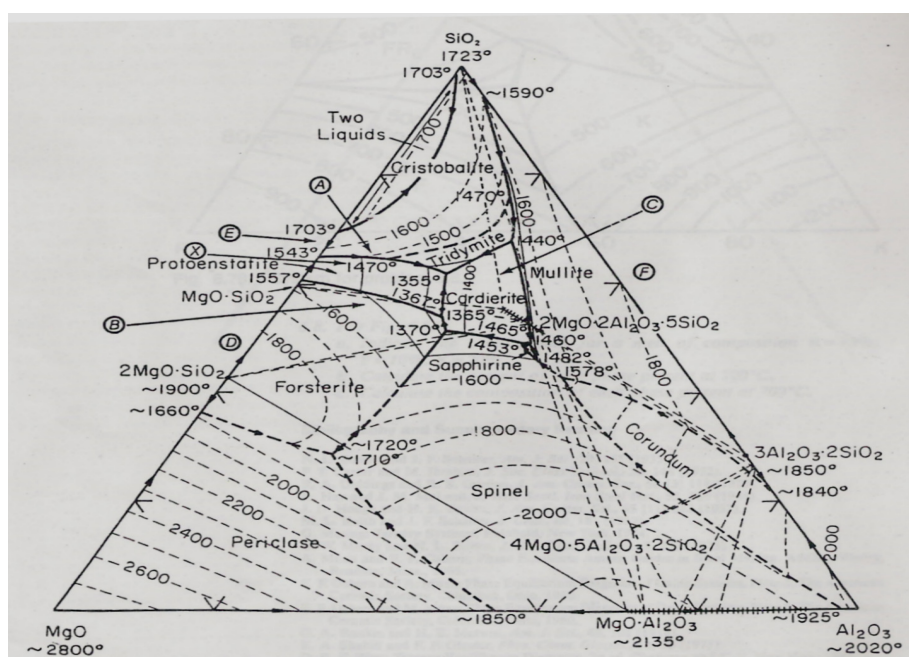
## II. TINJAUAN PUSTAKA

*Cordierite* (2MgO.2Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.5SiO<sub>2</sub>) dapat dibentuk dari oksida-oksida: MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, dan SiO<sub>2</sub> pada suhu sekitar (1100 – 1400) °C melalui reaksi sebagai berikut:



Hans K.S. dkk., mensintesa serbuk *cordierite* dari beberapa macam bahan baku alam, ternyata suhu pembentukannya sangat tergantung pada jenis bahan baku yang digunakan. J.C. Broudic dkk., juga telah mencoba sintesa *cordierite* melalui teknik sol gel, dan diperoleh fasa *cordierite* pada suhu yang lebih rendah, yaitu: (900 – 1000)°C.

Dari diagram segi tiga: MgO - Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - SiO<sub>2</sub>, fasa *cordierite* terletak pada daerah yang diberi tanda (C), seperti ditunjukkan Gambar 1 [3]. Sifat umum dari keramik *cordierite* adalah: tahan temperatur tinggi, tahan korosi terhadap bahan kimia, memiliki kekerasan yang tinggi sehingga tahan abrasi, bersifat isolator listrik, dan getas (*brittle*). Keunggulan keramik *cordierite* dibanding keramik lainnya: nilai koefisien ekspansi termal rendah, sekitar: (2x10<sup>-6</sup> – 3x10<sup>-6</sup>) °C<sup>-1</sup>, tahan terhadap kejutan suhu dan memiliki daya hantar panas relatif lebih baik.



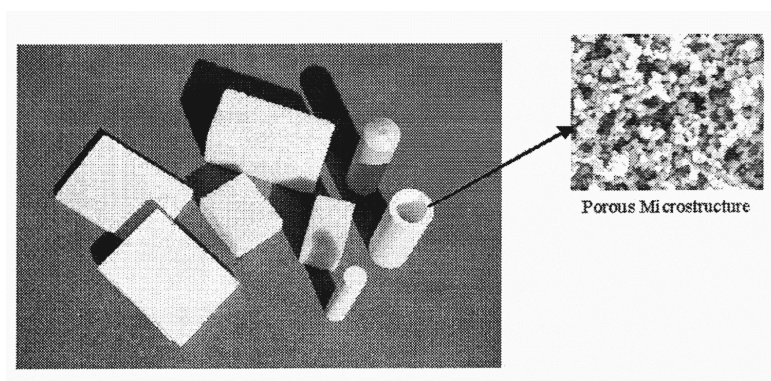
Gbr 1. Sistem MgO - Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - SiO<sub>2</sub>, komposisi *steatite* dinyatakan oleh daerah (A), *cordierite* adalah (C), *forsterite* adalah (D), titik (E) berhubungan dengan kalsinasi talk, dan titik (F) berhubungan dengan kalsinasi *clay* [3].

Aplikasi keramik *cordierite* antara lain: sebagai material tahan suhu tinggi (refraktori), filter gas buang, dan bahan penyangga katalis untuk filter gas beracun. Disamping itu *cordierite* juga bersifat isolator listrik yang baik sehingga dapat dipergunakan sebagai *substrat* elektronik dan bahan penyangga *heating element*. Pada Tabel 1 ditunjukkan beberapa besaran fisis dan mekanik dari keramik *cordierite* pada umumnya.

Beberapa model, bentuk keramik poros dan mikrostrukturnya ditunjukkan pada Gambar 2 [4]. Karakter dari keramik pori produk *HP Technical Ceramics* ini mempunyai ukuran pori (*pore size*) bervariasi sekitar orde nm – 120  $\mu\text{m}$  dan porositasnya sekitar: 30 – 50 %.

**Tabel 1. Sifat fisis dan mekanik dari keramik *cordierite***

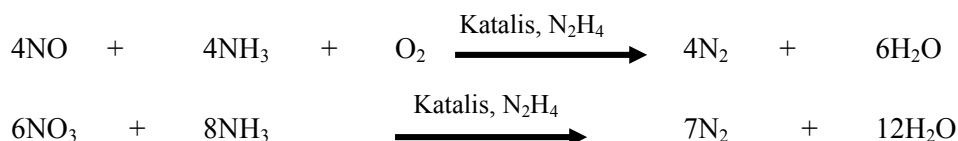
Sifat-sifat dari material keramik <i>cordierite</i>	Nilai	Satuan
Densitas, $\rho$	2,00 – 2,53	$\text{g/cm}^3$
Kuat patah, MOR	120 - 245	MPa
Kekerasan, Hv	700 -800	$\text{kgf/mm}^2$
Koef. Termal Ekspansi, $\alpha$ (25 – 1000 $^{\circ}\text{C}$ )	$2 \times 10^{-6} - 3 \times 10^{-6}$	$^{\circ}\text{C}^{-1}$
Titik Lebur	1460	$^{\circ}\text{C}$



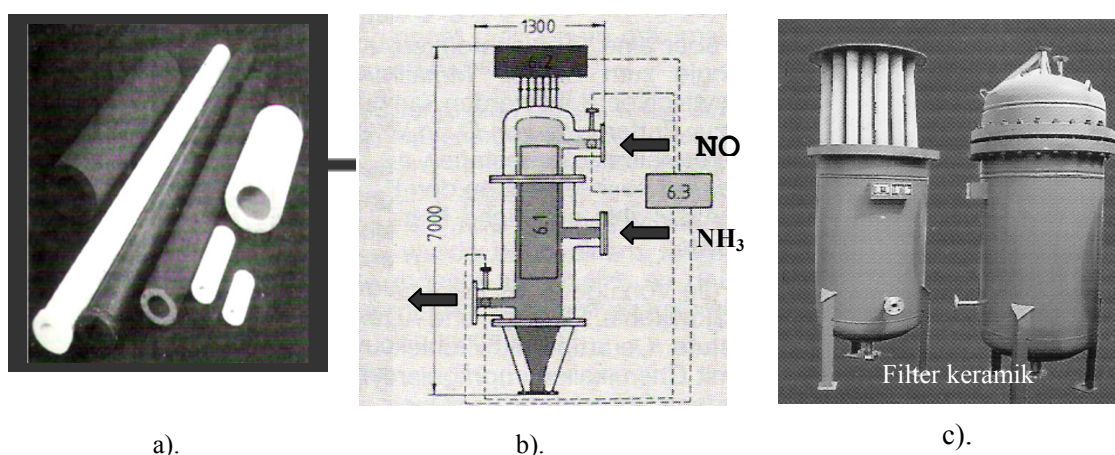
**Gambar 2. Bentuk dan mikrostruktur keramik poros.**

Material keramik sebagai filter gas buang dari tungku pembakaran atau kendaraan bermotor maka material tersebut harus tahan suhu tinggi (500 – 800) $^{\circ}\text{C}$ , seperti ditunjukkan pada Gambar 3a (berbentuk pipa/tabung). Filter keramik berpori hanya menangkap partikel-partikel halus dan partikel karbon. Untuk menangkap gas beracun (CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, Hidro carbon) maka permukaan porinya dilapisi dengan bahan katalis (*hydrozin* atau N<sub>2</sub>H<sub>4</sub>). Konstruksi filter gas buang (Gambar 3b) mampu membersihkan gas dengan tekanan 20 bar pada suhu sekitar 950 $^{\circ}\text{C}$ , dan ukuran pori sekitar 5 – 30 $\mu\text{m}$ . (Sumber: *W.Koch, Munchen, Die poröse Keramik in der Filtrations-und Umwelttechnik, Keramische Zeitschrift*).

Skema filter gas, (bagian 6.1. filter bentuk tabung, 6.2. otomatis kontrol aliran, 6.3. sistem control/*solenoid valve*), dimana pada tabung akan terjadi reaksi antara gas NO<sub>x</sub> dengan *ammonia* (NH<sub>3</sub>) dan membentuk N<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O melalui reaksi sebagai berikut:



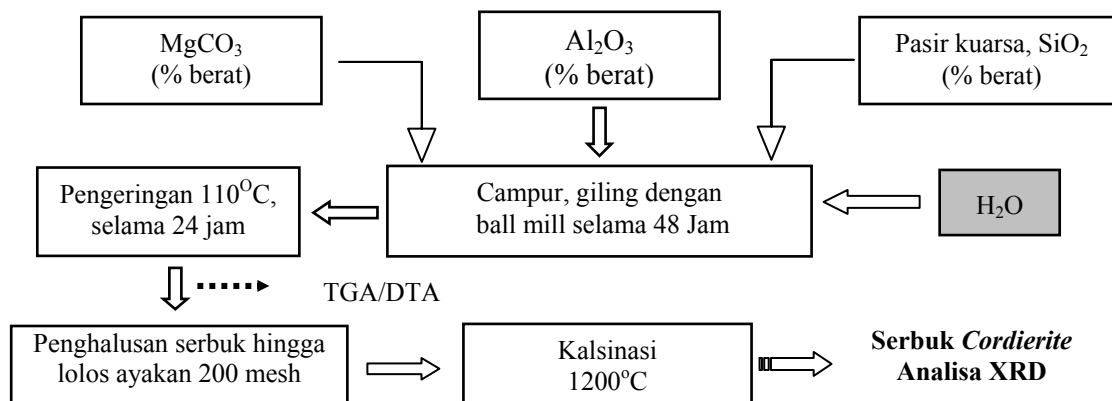
Produk keramik filter gas yang beredar dipasaran adalah jenis alumina dan *cordierite*, seperti: Gambar 3 c (produk *Zibo Development Zone Ceramic Filtering Equipment Corp*).



Gambar 3. a) . Model pipa/tabung filter keramik, b). Konstruksi filter untuk gas buang dan c). Produk filter keramik.

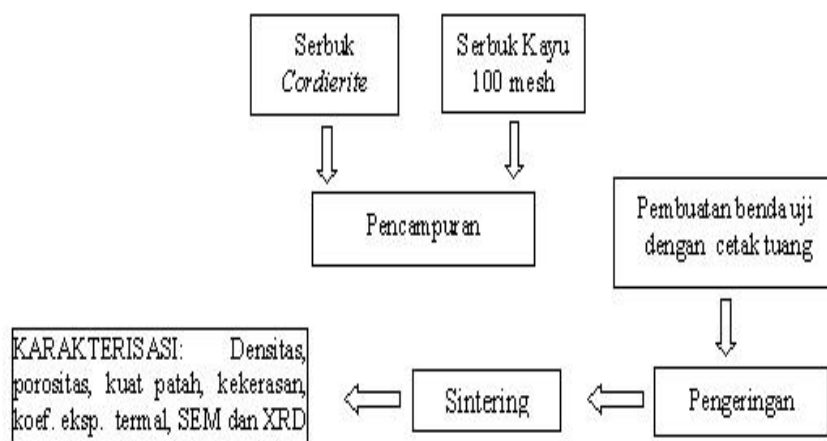
### III. METODOLOGI

Preparasi serbuk *cordierite* dilakukan dengan mencampur/menggiling bahan baku: ( $\text{MgCO}_3$ ,  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ , dan  $\text{SiO}_2$ ) di dalam *ball mill* selama 48 jam. Air ditambahkan kedalam *ball mill* sebanyak 1: 1 (volume), dan batas maksimum tidak lebih dari 2/3 volume *ball mill*. Serbuk hasil penggilingan kemudian dikeringkan pada suhu  $110^\circ\text{C}$  selama 24 jam, diayakan hingga lolos 200 mesh dan dikalsinasi pada suhu  $1200^\circ\text{C}$ . Penentuan suhu kalsinasi diperoleh dari hasil analisa termal dengan TGA/DTA. Selanjutnya serbuk yang telah dikalsinasi dianalisa dengan XRD untuk mengetahui struktur fasanya. Diagram alir preparasi serbuk *cordierite* diperlihatkan pada Gambar 4.



**Gambar 4. Diagram alir preparasi serbuk *cordierite*.**

Pembuatan benda uji keramik berpori dengan basis utamanya adalah serbuk *cordierite*, dicampur serbuk kayu yang telah digerus hingga lolos ayakan 100 mesh. Adapun komposisi serbuk kayu yang ditambahkan, yaitu sebesar: 10, 15, 20, 25, dan 30% berat. Bahan yang telah dicampur tersebut diaduk hingga rata, dicetak dengan cara cetak tuang (*slip casting*), dikeringkan dan terakhir disinter. Prosedur pembuatan keramik cordierite berpori diperlihatkan pada Gambar 5. Komposisi kimia serbuk *cordierite* dan benda uji keramik berpori yang disinter pada suhu 1250°C diperlihatkan pada Tabel 2. Pemilihan komposisi kimia dari fasa *cordierite*, ditetapkan pada satu titik yang berada di daerah (C) dari diagram segi tiga sistem: MgO – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – SiO<sub>2</sub> (Gambar 1).



**Gambar 5. Diagram alir proses sintering keramik *cordierite* dan karakterisasinya.**

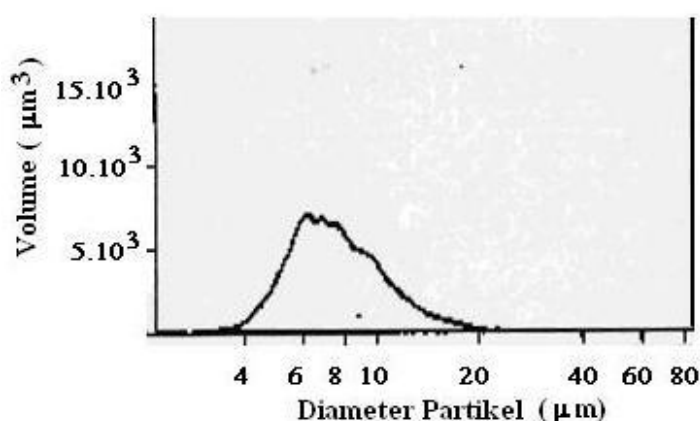
Karakterisasi keramik *cordierite* berpori yang telah dibuat meliputi: analisa struktur mikro (XRD dan SEM) serta pengukuran sifat fisisnya (densitas, porositas, kuat patah, kekerasan dan koefisien ekspansi termal).

**Tabel 2. Komposisi kimia dari serbuk *cordierite* dan benda uji disintering pada suhu 1250°C.**

Komposisi kimia serbuk <i>cordierite</i> , (% berat)	Komposisi benda uji (% berat)		Kode sampel
	<i>cordierite</i>	serbuk kayu	
MgO = 14	90	10	A
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> = 34	85	15	B
	80	20	C
SiO <sub>2</sub> = 52	75	25	D
	70	30	E

#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

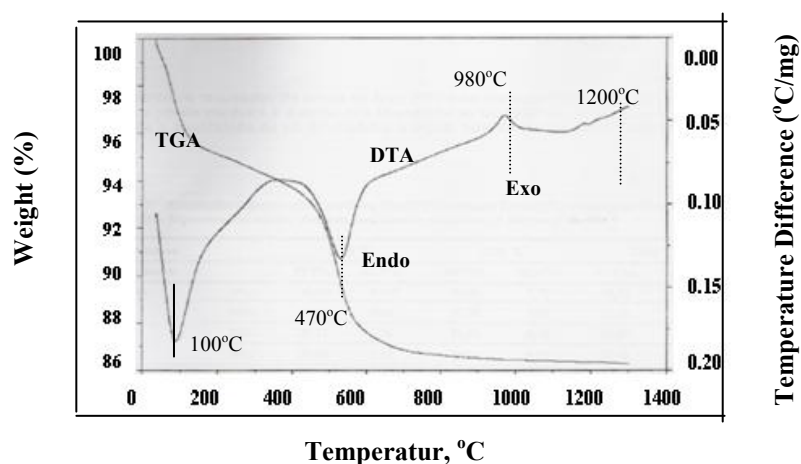
Distribusi ukuran partikel dari preparasi serbuk *cordierite* dengan komposisi kimia: MgO = 14%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 34% dan SiO<sub>2</sub> = 52% (dalam % berat) yang dikalsinasi 1200°C, diperlihatkan pada Gambar 6. Distribusi ukuran butir dari serbuk *cordierite* berkisar antara 2 –20 µm dengan diameter partikel rata-rata 7,78 µm.



**Gambar 6. Distribusi ukuran partikel dari preparasi serbuk *cordierite*.**

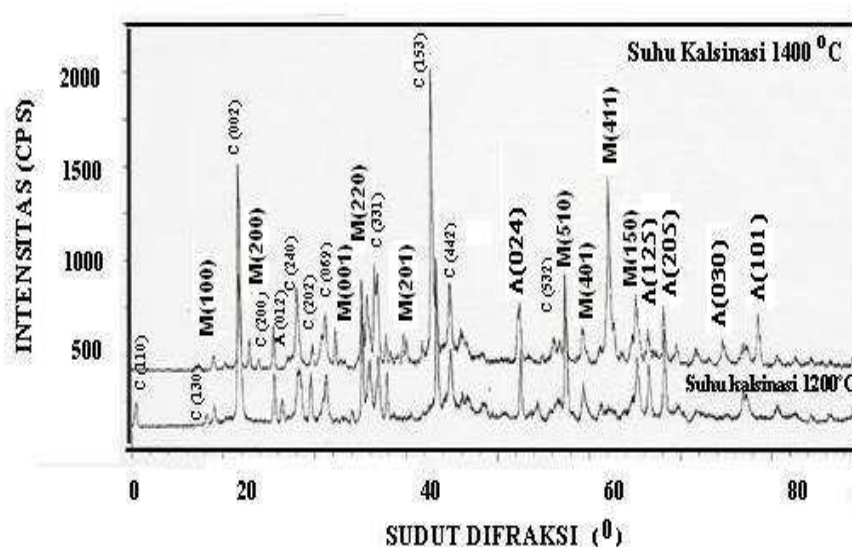
Terbentuknya fasa cordierite dapat diketahui dari hasil analisa TGA-DTA (Termogravimetry Analysis – Differential Thermal Analysis). Hasil analisa TGA-DTA dari serbuk cordierite yang dipanaskan hingga mencapai suhu  $1300^{\circ}\text{C}$ , seperti pada Gambar 7. Dari kurva terlihat bahwa pelepasan air terjadi pada suhu  $100^{\circ}\text{C}$ , diikuti pengurangan berat yang cukup besar, puncak endotermik pertama. Puncak endotermik kedua sekitar  $470^{\circ}\text{C}$ , pelepasan air kristal dan gas-gas dengan pengurangan berat relatif besar. Puncak eksotermik pertama dan kedua masing-masing pada suhu  $980^{\circ}\text{C}$  dan  $1200^{\circ}\text{C}$ , menyatakan saat mulai dan terbentuk sempurna dari fasa cordierite, dan diikuti pengurangan berat relatif kecil.

Analisa fasa dari serbuk  $\text{MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$  setelah dikalsinasi pada suhu  $1200^{\circ}\text{C}$  dan  $1400^{\circ}\text{C}$  dilakukan dengan XRD, ditunjukkan pada Gambar 8. Ternyata setelah dicocokkan dengan data Hanawalt memperlihatkan bahwa fasa yang terbentuk: *cordierite* (C) merupakan fasa mayor, sedangkan *mullite* (M) dan *corundum* atau  $\alpha$ -alumina (A) merupakan fasa minor. Sesuai hasil yang diperoleh dari analisa XRD menunjukkan bahwa suhu kalsinasi  $1200^{\circ}\text{C}$  sudah cukup untuk menghasilkan fasa cordierite ( $2\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2$ ), dengan system kristal orthorhombic dan parameter kisi  $a \neq b \neq c$  dan  $\alpha = \gamma = \beta = 90^{\circ}$ . Jelas terlihat bahwa suhu kalsinasi ditingkatkan  $1400^{\circ}\text{C}$  menyebabkan terbentuknya fasa lain, sebagai minoritas: mullite ( $3\text{AlO}_2 \cdot 2\text{SiO}_2$ ) dengan system kristal orthorhombic, parameter kisi  $a \neq b \neq c$  dan  $\alpha = \gamma = \beta = 90^{\circ}$  serta corundum ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) dengan system kristal trigonal, parameter kisi  $a = b \neq c$  dan  $\alpha = \gamma = \beta = 90^{\circ}$ .



**Gambar 7.** Kurva TGA - DTA dari serbuk  $\text{MgO} = 14\%$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 34\%$  dan  $\text{SiO}_2 = 52\%$  (dalam % berat) yang dipanaskan hingga suhu  $1300^{\circ}\text{C}$ .

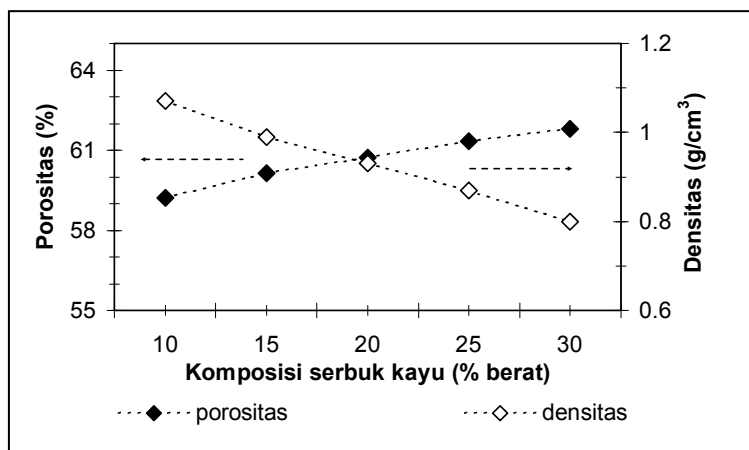




**Gambar 8. Pola XRD serbuk cordierite, dikalsinasi pada suhu 1200°C dan 1400°C**

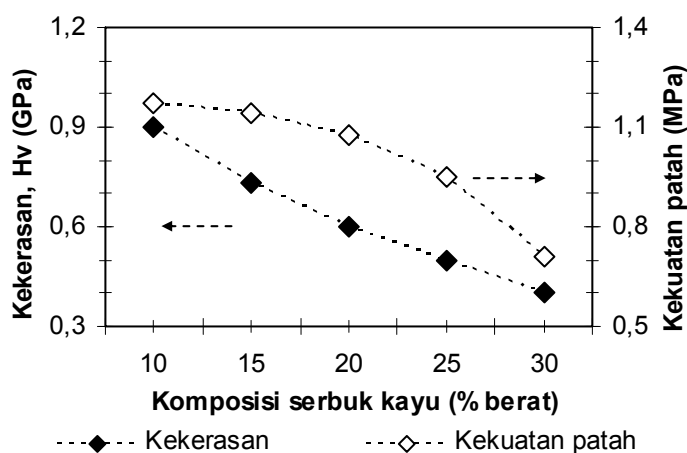
Sesuai hasil yang diperoleh dari analisa XRD menunjukkan bahwa suhu kalsinasi 1200°C sudah cukup untuk menghasilkan fasa cordierite ( $2\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2$ ), dengan system kristal orthorhombic dan parameter kisi  $a \neq b \neq c$  dan  $\alpha = \gamma = \beta = 90^\circ$ . Jelas terlihat bahwa suhu kalsinasi ditingkatkan 1400°C menyebabkan terbentuknya fasa lain, sebagai minoritas: mullite ( $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ ) dengan system kristal orthorhombic, parameter kisi  $a \neq b \neq c$  dan  $\alpha = \gamma = \beta = 90^\circ$  serta corundum ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) dengan system kristal trigonal, parameter kisi  $a = b \neq c$  dan  $\alpha = \gamma = \beta = 90^\circ$ .

Hasil pengukuran densitas dan porositas dari keramik *cordierite* yang telah disintering pada suhu 1250°C, seperti pada Gambar 9. Dari kurva terlihat bahwa persentase penambahan serbuk kayu berbanding terbalik dengan densitas dan berbanding lurus dengan porositas. Artinya terjadinya pelepasan bahan organik dari serbuk kayu menyebabkan bertambahnya pembentukan pori tanpa mempengaruhi struktur keramik awal. Nilai densitas dari keramik *cordierite* adalah: 0,8–1,07 g/cm<sup>3</sup>, menurut referensi sekitar: 0,8–1,0 g/cm<sup>3</sup> ([www.google.com/cordierite\\_porous-properties.htm](http://www.google.com/cordierite_porous-properties.htm)). Dari hasil diatas, maka komposisi  $\geq 15$ -30% serbuk kayu (SK) adalah memenuhi sebagai filter gas buang. Nilai porositas yang diperoleh: 59–62%, dan menurut literatur sebesar 70–95% (produk *Shandong Reaserch & Design Institute of Industrial Ceramics* untuk jenis *cordierite*). Hasil eksperimen Dr. Dipl. Eng. Aurica Goleanu pada *Synthesizing Cordierite in Ceramic Bodies* yang disinter pada suhu 1300–1350°C, diperoleh sekitar 24–57%. Standar keramik berpori untuk filter gas berkisar antara 60–62%, sumber: [www.google.com/cordierite\\_porous-properties.htm](http://www.google.com/cordierite_porous-properties.htm).



**Gambar 9.** Hubungan antara porositas dan densitas terhadap komposisi serbuk kayu (% berat) yang disinter pada suhu 1250°C.

Hasil pengukuran kekerasan, Hv dan kekuatan patah (*Bending Strength*) dari keramik *cordierite* yang telah disinter pada suhu 1250°C diperlihatkan pada Gambar 10.

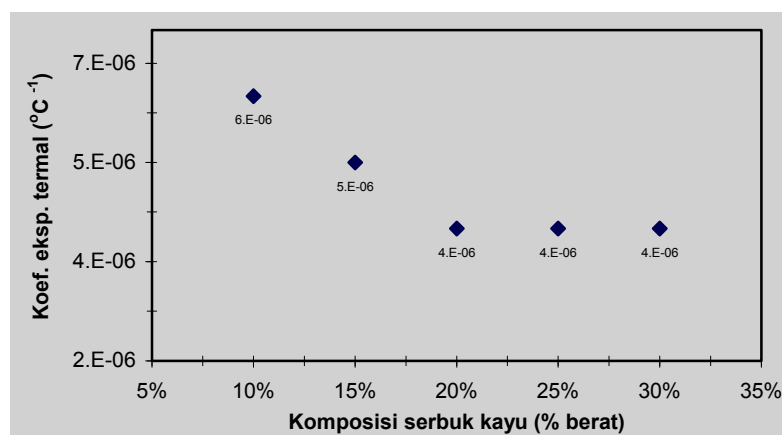


**Gambar 10.** Hubungan antara kekerasan, Hv dan kekuatan patah terhadap komposisi serbuk kayu

Dari hasil pengukuran menunjukkan bahwa semakin banyak serbuk kayu yang ditambahkan cenderung menurunkan nilai kekerasan dan kekuatannya. Nilai kekerasan keramik *cordierite* yang diperoleh berkisar antara 0,4–0,9GPa, dan kekerasan dari keramik *cordierite* (tanpa pori): 6,86–7,85GPa. Besarnya kekuatan patah dari keramik *cordierite*, diperoleh: 0,71–1,17MPa dan produk *Shandong Reaserch & Design Institute of Industrial Ceramics* untuk komponen filter gas adalah 1-

3MPa dengan *working pressure* 6 MPa (maksimum). Sedangkan menurut *literature* lain (Ming, Y., Birirnie, W. Kingery, D. W.) kekuatan patah dari keramik filter khususnya untuk filter gas buang adalah sebesar 1MPa.

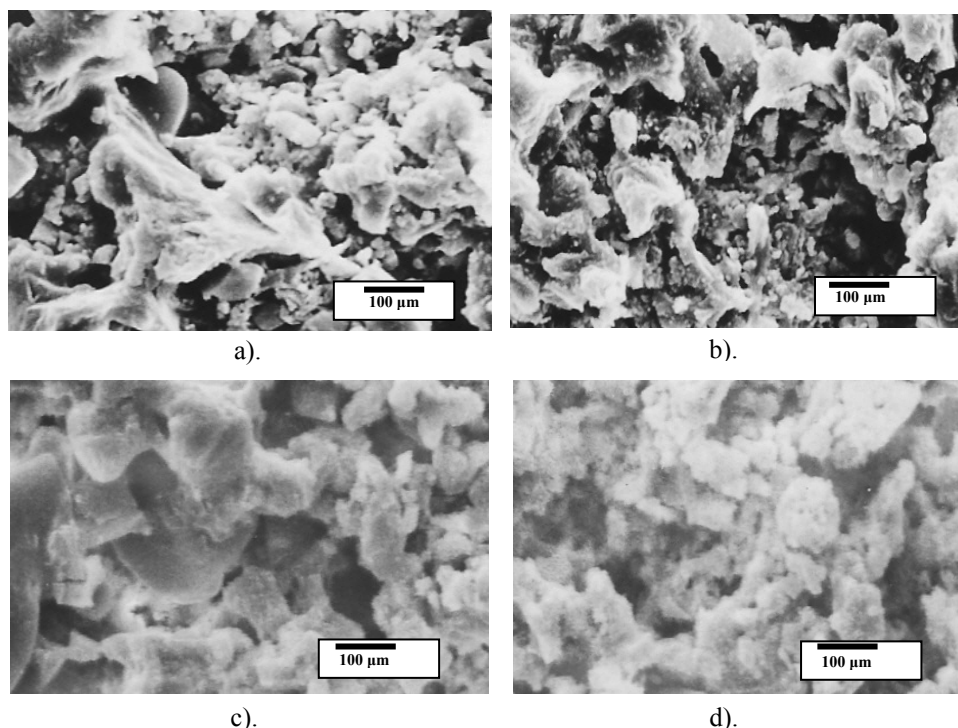
Hasil pengukuran koefisien ekspansi termal keramik *cordierite* sebagai fungsi penambahan serbuk kayu (% berat) dengan suhu sintering 1250°C diperlihatkan pada Gambar 11.



**Gambar 11.** Hubungan antara koefisien ekspansi termal terhadap komposisi serbuk kayu (% berat) yang disinter pada suhu 1250°C.

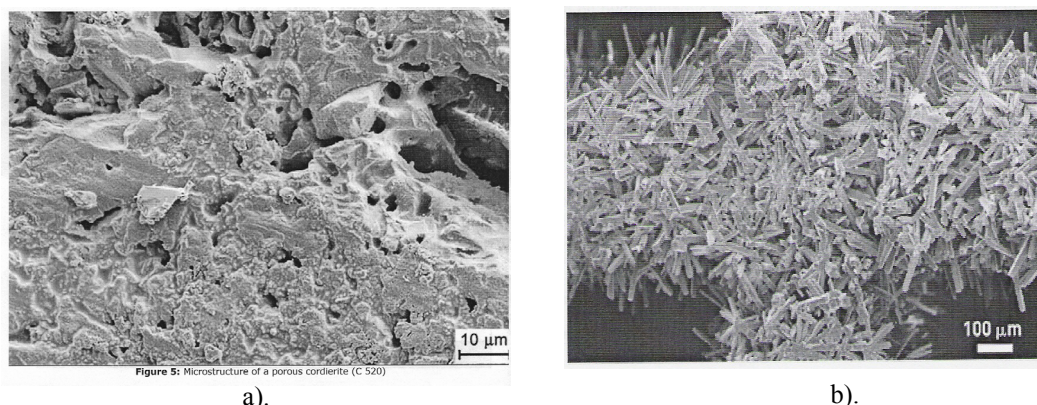
Besarnya nilai koefisien ekspansi termal,  $\alpha$  dari keramik *cordierite* dihitung melalui slope  $\Delta L/L_0$  (%) terhadap suhu pemanasan (30–700°C). Dari kemiringan *slope* yang semakin landai maka besar koefisien ekspansi termal cenderung kecil dan berlaku juga untuk sebaliknya, kecuali untuk benda yang telah mengalami deformasi. Nilai koefisien ekspansi termal dari keramik *cordierite* yang diperoleh berkisar antara:  $(4-6) \times 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ . Sebagai gambaran koefisien ekspansi termal keramik *cordierite* tipe C 520 untuk standar filter gas buang adalah berkisar antara:  $(2-4) \times 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ , diukur pada rentang suhu 30–600°C (sumber: *Breviary Technical Ceramic*).

Hasil pengamatan foto SEM dari keramik *cordierite* dengan berbagai komposisi serbuk kayu (% berat) yang disinter pada suhu 1250°C diperlihatkan pada Gambar 12. Pada Gambar 13 a) foto SEM dari keramik *cordierite* yang berpori (tipe: C 520), sumber: *Breviary Technical Ceramics*. Sedangkan Gambar 13 b) adalah bahan penyangga berpori berbasis *mullite*, sumber: *Porous Supports*.



**Gambar 12.** Foto SEM keramik *codierite*, disinter pada suhu 1250°C dengan komposisi: a). 15% SK, b). 20% SK, c). 25% SK dan d). 30% SK (serbuk kayu).

Dari foto SEM memperlihatkan bahwa bentuk partikel *cordierite* adalah tidak beraturan, ukuran pori antara 10–100µm dan distribusinya tidak merata. Sampel yang dibuat dengan komposisi 20% serbuk kayu dan suhu sintering 1250°C merupakan kondisi terbaik karena distribusi pori relatif sama dan merata. Pernyataan ini dikuatkan dan didukung oleh pengamatan bentuk fisik maupun dari hasil pengukuran sifat-sifat fisisnya. Keramik *mullite* bentuk partikelnya seperti jarum, distribusinya relatif lebih merata dengan ukuran lebih kecil dari 50 µm. Posisi pori yang terbentuk umumnya adalah terletak pada posisi serbuk kayu (SK) yang ditunjukkan warna gelap/hitam dan bentuk butiran dengan warna terang/putih. Pengaruh pertumbuhan kristal (*crystal growth*) tidak terjadi karena suhu sinteringnya tetap.



Gambar 13. a). Foto SEM dari keramik *cordierite* tipe C 520 dan b). Foto SEM dari keramik *mullite* sebagai bahan penyangga berpori (*Porous Supports*).

## KESIMPULAN DAN SARAN

Pembuatan serbuk *cordierite* melalui mekanisme reaksi padatan dengan menggunakan bahan baku teknis:  $\text{MgCO}_3$ ,  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  dan  $\text{SiO}_2$ , dikalsinasi pada suhu  $1200^\circ\text{C}$  menghasilkan ukuran butir rata-rata sekitar  $7,78\text{ }\mu\text{m}$ . Penentuan suhu kalsinasi  $1200^\circ\text{C}$  ditetapkan sesuai dengan hasil analisa termal TGA/DTA Berdasarkan hasil pengukuran sifat fisis (densitas, porositas, ukuran dan distribusi pori) menunjukkan bahwa kondisi terbaik adalah dengan komposisi 20% serbuk kayu (SK), dan suhu sintering  $1250^\circ\text{C}$ . Pada kondisi ini diperoleh nilai densitas:  $0,93\text{g/cm}^3$ , porositas: 60,72 %, kekuatan patah:  $1,075\text{MPa}$ , kekerasan (Hv):  $0,6\text{GPa}$ , koefisien termal ekspansi:  $4 \times 10^{-6} ^\circ\text{C}^{-1}$  dan ukuran serta distribusi pori relatif seragam berkisar  $10\text{-}80\mu\text{m}$ . Fasa dominan adalah *cordierite* ( $2\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2$ ), dengan sistem kristal *orthorhombic*, parameter kisi  $a \neq b \neq c$  dan  $\alpha = \gamma = \beta = 90^\circ$ . Fasa minor adalah *mullite* ( $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ ) dengan sistem kristal *orthorhombic*, parameter kisi  $a \neq b \neq c$  dan  $\alpha = \gamma = \beta = 90^\circ$ . Fasa minor lainnya adalah *corundum* ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), mempunyai sistem kristal *trigonal*, parameter kisi  $a = b \neq c$  dan  $\alpha = \gamma = \beta = 90^\circ$ . Untuk mendapatkan distribusi pori yang lebih merata dan ukuran yang lebih seragam disarankan adanya perbaikan pada saat proses pencetakan, khususnya pengaruh pengumpulan serbuk kayu akibat densitasnya lebih rendah dibanding serbuk *cordierite*.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Hans K. S., dkk., Synthesis and Characterization of Low Thermal Expansion Cordierite, ASEAN – Japan Seminar on Ceramics, Fine Ceramics, Kuala Lumpur – Malaysia, 1992.
2. Broudic J.C., J.Guille, S. Vilminot, Properties of Sol Gel Ceramics and Vitroceramics With The Cordierite Composition, Euro Ceramics, 1989, Vol. 2, edited by R. A. Terpstra, Netherland.

3. Osborn E. F., and A. Muan, In Phase Equilibrium Diagrams of Oxide Systems, American Ceramic Society, No. 3, Columbus, Ohio, 1960.
4. www.tech-ceramics.co.uk, HP Technical Ceramics, Kenilworth Works Denby Street Sheffield S2 4QL, UK, Email: hptc@ukonline.co.uk
5. Zibo Development Zone Ceramic Filtering Equipment Corp, sumber berupa brosur.
6. W.Koch, Die poröse Keramik in der Filtrations-und Umwelttech Keramische Zeitschrift: 39 Jahrgang, 1987, Nr. 9, Munchen – Germany.
7. James S.Reed, Introduction to The Principles of Ceramic Processing, John Wiley & Sons, Inc. Singapore, 1988.
8. Reynen P., The impact of Sintering Theory on Powder Technology, Proceeding of The 4<sup>th</sup> Yugoslav – German Meeting on Material Science and Development, 1979, p.69 – 95, Beograd.
9. Reynen P., H. Bastian, Powder Metallurgy International, 1986, Vol. 8, No. 2, p. 91.
10. Ristic M. M., Sintering – New Development, Elsevier Scientific Publishing Company, 1989, Vol. 4, Netherland.
11. Richardson David W, Modern Ceramic Engineering, Marcel Dekker, Inc., New York, 1982.
12. William Coblens, Firing of Sintering (Densification) of Ceramic, Engineered Materials Handbook, edited by Samuel J. Schneider, ASM. International Publisher, New York, 1991, Vol. 4,
13. Junshiro Hayakawa, Testing Method of Bending Strength and Its Evaluation, JICA – SIRIM Publishing, Malaysia, 1991.
14. [http://www.keramverband.de/brevier\\_engl/3/4/1/3\\_4\\_1\\_3.htm](http://www.keramverband.de/brevier_engl/3/4/1/3_4_1_3.htm), Breviary Technical Ceramics.
15. [http://www.keramverban.de/brevier\\_engl/10/9/1/10915.htm](http://www.keramverban.de/brevier_engl/10/9/1/10915.htm), Breviary Technical Ceramics.
16. <http://www.ceramicindustry.com/CDA/ArticleInformation/features>, Dr. Dipl. Eng. Aurica Goleanu, Synthesizing Cordierite in Ceramic Bodies.
17. [www.google.com/cordierite porous-properties.htm](http://www.google.com/cordierite%20porous-properties.htm)
18. Ming, Y, Birnnie, W, Kingery, D. W., Physical Ceramic, Principle For Ceramics Science and Engineering, John Willey & Song Inc., Canada, 1986.
19. Shandong Reaserch & Design Institute of Industrial Ceramics, Brosure Material Keramik.